

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra Kybernetiky a Biomedicínského inženýrství**

**Výukový model vybraných orgánů velkého krevního oběhu lidského  
těla**

Educational Model of Chosen Organs of Large Blood Circulation.

**Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně.

Uvedla jsem všechny použité literární zdroje a publikace, ze kterých jsem čerpala.



.....  
Bc. Mária Zahnašová

Datum odevzdání diplomové práce: 7. 5. 2015

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Mária Zahnašová**  
Studijní program: N2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 3901T009 Biomedicínské inženýrství  
Téma: **Výukový model vybraných orgánů velkého krevního oběhu lidského těla**  
**Educational Model of Chosen Organs of Large Blood Circulation**

Zásady pro vypracování:

1. Teoreticky popis a rozbor problematiky funkčnosti velkého krevního oběhu a vybraných orgánů.
2. Návrh modelu vybraných orgánů velkého krevního oběhu lidského těla.
3. Realizace modelu vybraných orgánů velkého krevního oběhu lidského těla.
4. Verifikace funkčnosti modelu vybraných orgánů velkého krevního oběhu lidského těla.
5. Zhodnocení dosažených výsledků práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] MERKUNOVÁ, Alena a Miroslav OREL. *Anatomie a fyziologie člověka: pro humanitní obory*. Vyd. 1. Praha: Grada, 2008. 302 s. ISBN 978-80-247-1521-6.  
[2] CHLUMSKÝ, Jan. *Plicní funkce pro klinickou praxi*. Praha: Maxdorf, c2014. 228 s. ISBN 978-80-7345-392-3.  
[3] JIRÁK, Zdeněk. *Fyziologie pro bakalářské studium na ZSF OU. 2., přeprac. vyd.* Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, Zdravotně sociální fakulta, 2007. 249 s. ISBN 978-80-7368-234-7.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Zdeněk Macháček, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2014

Datum odevzdání: 07.05.2015



doc. Ing. Jiří Koziolek, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

## **Poděkování**

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Zdeňku Macháčkovi, Ph.D. za vedení, rady a pomoc při realizaci diplomové práce. Dále mé velké poděkování patří panu Ing. Zdeňku Slaninovi, Ph.D. za cenné rady a podporu.

## **Abstrakt**

Výukové modely, jsou nedílnou součástí výuky anatomie a fyziologie. Na tvorbu a provedení těchto modelů jsou kladeny vysoké nároky.

Hlavním cílem této diplomové práce je přiblížení základních poznatků z anatomie a fyziologie hravou a zábavnou formou pro všechny věkové kategorie. Vytvoření moderních a poutavých modelů.

Cílem není vytvoření modelů, které by odpovídaly reálným fyziologickým, anatomickým či fyzikálním principům, k nimž může v lidském organismu docházet, ale schematicky a zjednodušenou zábavnou formou předvést anatomické poznatky a fyziologickou funkci. Jedná se tedy o sestavení modelů pomocí plastových hadiček, ve kterých bude kolovat tekutina poháněna čerpadlem. Jako řídicí a napájecí jednotka je inteligentní kostka EV3 od firmy Lego.

## **Klíčová slova**

Model, výukový model, anatomie, fyziologie, LEGO Mindstorms, EV3, senzory, čerpadlo, astabilní klopný obvod, měření tlaku, PWM, ledviny, velký krevní oběh

## **Abstract**

Educational Models are an integral part of the teaching anatomy and physiology. The creation and implementation of these models are high demands.

The main objective of this thesis is to approach the basic knowledge of anatomy and physiology playful and fun way for all ages. Creating a modern and eye-catching models.

The aim is not to create models that reflect the real physiological, anatomical or physical principles that may occur in the human body. But schematically and simplified entertaining way to showcase anatomical findings and physiological function. It is therefore an assembly model using plastic tubing in which the fluid will circulate driven pump. As a control and power unit is an intelligent cube EV3 from Lego.

## **Key Words**

Model, teaching model, anatomy, physiology, LEGO Mindstorms, sensors, pump, astable flip-flop pressure measurement, PWM, kidneys, large blood circulation

## Seznam použitých symbolů a zkratek

<b>EV3</b>	Inteligentní kostka od firmy Lego
<b>UM</b>	Unregulated motor
<b>AKO</b>	Astabilní klopný obvod
<b>Č1, Č2</b>	Čerpadlo 1, Čerpadlo 2
<b>BS</b>	Barevný senzor
<b>DS</b>	Dotykový senzor
<b>PP</b>	Propojovací prvek
<b>PWM</b>	Pulzně šířková modulace
<b>MKO</b>	Monostabilní klopný obvod

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Význam modelů při výuce</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Historie</b>	<b>4</b>
3.1	Vývoj publikací	4
<b>4</b>	<b>Přehled modelů dostupných na trhu</b>	<b>5</b>
4.1	Modely ledvin	5
4.2	Modely velkého krevního oběhu	7
4.3	Softwarové modely	8
<b>5</b>	<b>Anatomie a fyziologie velkého krevního oběhu a ledvin</b>	<b>10</b>
5.1	Velký krevní oběh	10
5.1.1	Uspořádání cévního systému	10
5.1.2	Větvení krevního oběhu	12
5.2	Vylučovací ústrojí	15
5.2.1	Popis a uložení ledvin	16
5.2.2	Cévní zásobení	16
5.2.3	Funkční uspořádání	17
5.2.4	Proces tvorby moči	18
5.2.5	Řízení tubulárních procesů	21
<b>6</b>	<b>Návrh modelů</b>	<b>23</b>
6.1	Blokové schéma	23
6.2	Schéma velkého krevního oběhu (neveřejná část)	24
6.3	Model nefronu (neveřejná část)	25
6.4	Použité součástky (neveřejná část)	26
6.4.1	Čerpadlo (neveřejná část)	28
<b>7</b>	<b>Ovládací prvek EV3 (neveřejná část)</b>	<b>30</b>
7.1	Popis EV3	30
7.2	Technické parametry EV3	31
7.3	Vnitřní proudová ochrana	32
7.4	Komunikační rozhraní	32
<b>8</b>	<b>Senzory (neveřejná část)</b>	<b>34</b>
8.1	Ovládací senzory	34
8.2	Měřicí senzor	35
<b>9</b>	<b>Realizace propojení EV3 a čerpadla (neveřejná část)</b>	<b>37</b>
9.1	Astabilní klopný obvod	40
<b>10</b>	<b>Softwarová část (neveřejná část)</b>	<b>46</b>
10.1	Stavový diagram algoritmu řízení	46
10.2	Programovací prostředí	49
10.3	Popis funkce programu	51
10.3.1	První program s názvem Ovládání	51
<b>11</b>	<b>Verifikace modelů (neveřejná část)</b>	<b>55</b>

11.1	Měření protékajícího proudu .....	55
11.2	Vykreslení PWM pro jednotlivé nastavené hodnoty .....	59
11.3	Měření tlaku .....	61
<b>12</b>	<b>Fotodokumentace modelů (neveřejná část) .....</b>	<b>63</b>
12.1	Model velkého krevního oběhu .....	63
12.2	Model ledvin .....	64
<b>13</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>66</b>
<b>14</b>	<b>Seznam literatury .....</b>	<b>68</b>
<b>15</b>	<b>Seznam příloh .....</b>	<b>70</b>



# 1 Úvod

Výuka z oblasti anatomie a fyziologie je nedílnou součástí studia, jak na lékařských fakultách, tak v dalších odvětvích, jako je například antropologie, farmacie, biomedicínská technika. Nejedná se pouze o výuku těchto předmětů na vysokých školách, ale také přiblížení základních principů funkčnosti lidského těla jak studentům, tak širší veřejnosti.

K výuce takto náročných předmětů jsou nezbytné pomůcky a modely vizuálně přibližující výuku. Proto jsou neustále kladeny vysoké nároky na vývoj a zpracování nových modelů, které by tvořily dostatečný vizuální podklad k probíranému tématu a zároveň byly pro uživatele něčím zajímavé a atraktivní.

Hlavním cílem této diplomové práce je přiblížit základní poznatky z anatomie a fyziologie hravou a zábavnou formou pro všechny věkové kategorie a zároveň vytvoření moderních a poutavých modelů. Ve spolupráci s kolegou, který se zabývá zpracováváním podobného tématu bylo rozhodnuto, že se tato práce bude věnovat tvorbě modelu velkého krevního oběhu a ledvin, jejichž princip fungování bude předveden na modelu nefronu.

Cílem není vytvoření modelů, které by odpovídaly reálným fyziologickým, anatomickým či fyzikálním principům, k nimž může v lidském organismu docházet, ale schematicky a zjednodušenou zábavnou formou předvést anatomické poznatky a fyziologickou funkci částí lidského organismu.

Úvod práce je zaměřen na stručný přehled vývoje lékařských publikací, které předcházely dnešním moderním anatomickým atlasům a modelům orgánů lidského těla.

Následující kapitola je věnována přehledu dostupných modelů částí lidského těla na trhu. Jsou zde uvedeni zástupci statických modelů, reprezentujících jak vnitřní uspořádání orgánu, tak celé orgánové struktury. Dále jsou zde uvedeny tzv. dynamické modely popisující základní principy funkčnosti daného orgánu. Jako poslední je zmíněn zástupce softwarových modelů.

V další kapitole je podrobně popsána anatomie a fyziologie orgánů, které byly zvoleny pro tvorbu výukových modelů. Tato kapitola uzavírá teoretickou část práce.

Praktická část začíná schematickým návrhem pro řízení obou modelů a následně jednotlivá schémata modelů. Následuje výčet zvolených součástí, ze kterých budou modely sestaveny.

Jedna kapitola je věnována ovládacímu prvku obou modelů. Jedná se o inteligentní kostku EV3 od firmy Lego, popis komunikačního rozhraní a typy použitých senzorů (ovládací a měřicí).

V kapitole nazvané jako realizace propojení čerpadla a EV3 je podrobně rozebrána tato problematika. A je zde uvedeno řešení propojení pomocí nestabilního klopného obvodu.

V další kapitole je pak popsána samotná realizace modelů na základě navržených schematických návrhů. Následuje samotný popis průběhu naprogramování ovládacího softwaru s pomocí programovacího nástroje Lego Mindstorms, jsou tak naprogramovány základní funkce modelů. Modely dále umožňují koncovému uživateli prostřednictvím Lego Mindstorms, EV3 měnit naprogramování parametrů pomocí barevného a dotykového senzoru a předvedení základních principů funkce orgánů lidského těla.

Předposlední kapitola s názvem verifikace modelů obsahuje výsledky kontrolních měření a samotné ověření funkčnosti obou modelů. Závěrem je pak fotodokumentace obou modelů s popisem jednotlivých částí.

V závěru je pak celkové zhodnocení diplomové práce.

## 2 Význam modelů při výuce

Znalosti z oblasti anatomie, jsou jedním ze základních a nejdůležitějších předpokladů, pro zvládnutí studia řady studijních oborů lékařských fakult, farmacie, antropologie a biomedicínské techniky. I když v současné době existuje množství nejrozličnějších studijních materiálů, je porozumění anatomii stále jedním z nejnáročnějších a nejsložitějších úkolů, se kterými se studenti potýkají zejména v prvních semestrech studia.

Důvodů, proč se anatomie stala jedním z náročnějších předmětů, je mnoho. Mezi tyto důvody lze zařadit různě velké rozdíly mezi ilustrovanými obrazy v anatomických atlasech a skutečným vzhledem orgánu. Dalším problémem je nemožnost měnit úhel pohledu na tyto části lidského těla. Významným problémem souvisejícím s posledně jmenovaným bodem je také prostorová představivost a uvědomění si vzájemných vztahů mezi jednotlivými orgány.

Ideálním řešením tohoto problému by byla praktická cvičení na pitevních a studium preparátů. V tomto případě však nastává mnoho omezení. Jedná se především o nedostatek času pro praktickou výuku, množství studentů, nemožnost samostatného procvičování a přípravy. Omezující je v tomto případě taky omezený přístup k novým preparátům.

Výše uvedené problémy vedly k vytvoření plastických 3D modelů. Jedná se o modely jednotlivých orgánů (játra, ledviny, srdce atd.), nebo orgánových soustav (vylučovací, trávicí). U těchto modelů jsou jednotlivé struktury barevně odděleny a u některých modelů bývají povrchové vrstvy odnímatelné, aby bylo vidět vnitřní uspořádání orgánu. Tyto modely umožňují rotaci orgánu a pohled na něj ze všech úhlů. Omezení nastává u zpracovaných detailů vnitřních i povrchových struktur. Je to dáno především zpracovatelností modelů.

Další možností jsou softwarově řešené výukové modely, které umožňují nejen rotaci, ale i detailnější pohled na struktury daných orgánů. Výukové modely tohoto typu jsou v současné době velmi populární. Interaktivní formou jsou zde popsány orgány i celé orgánové soustavy. U většiny z nich je možné prohlížení jak ilustrovaných obrázků, tak fotografií skutečných orgánů.

Všechny výše popisované modely umožňují pouze anatomický popis. U většiny těchto modelů, chybí jejich funkčnost z hlediska fyziologie. Pochopení fyziologie patří mezi základní předpoklady pro pochopení funkce organismu jako celku. Proto je důležité zaměřením se i na tvorbu modelů popisujících fyziologii.

[1]

## 3 Historie

Z historického hlediska sahá zájem člověka o anatomii a obecnou biologii až do starověku. Jako první jsou doloženy zprávy o prvním zkoumání lidského těla a pitvě z dob alexandrijské říše, a to už ve třetím stolení před našim letopočtem. Dále se pak jednalo především o Egypt (mumifikace) a na asijském kontinentu to byla výhradně Čína. Zjištěné poznatky se v tehdejších dobách tradovaly převážně ústně, ilustrace byly spíše výjimkou. S přelomem letopočtu se objevilo první kvalitní dílo, jehož autorem byl řecký lékař Galén. Vývoj lékařských publikací se v průběhu historie pak spojoval vždy s konkrétní osobou.

### 3.1 Vývoj publikací

Dílo překládané jako **Užitečnost částí**, jehož autorem je již zmiňovaný Galén, představovalo spíše popis anatomických struktur. Ilustrace se zde vyskytovaly jen ojediněle, i přes to byla tato publikace zdrojem informací do konce středověku. Vědomosti z daného oboru se v následujících letech rozvíjely především v arabském světě.

V 15. století vychází pitevní příručka *Anatomia Corporis Humani* autora Mondina de'Luzzi, ve které se objevují novější ilustrace. V době humanismu nastal problém v rozdílech mezi Galénovými obecnými popisy a skutečným vzhledem orgánů. Galénovo dílo bylo stále uznáváno, ale vědci se snažili o vědu plynoucí ze skutečného pozorování. Toto úsilí je zřetelné hlavně v dílech Leonarda da Vinciho, který vše ilustroval s úzkostlivou pravdivostí.

V 16. století byla anatomie ustanovena jako věda vycházející z pozorování. Roku 1543 vychází dílo *Humani Corporis Fabrica* autora Andrease Vesalia – počátek realistického zachycení lidského těla.

V průběhu dalších staletí dochází ke zvyšování přesnosti a dokonalosti anatomických ilustrací. V roce 1858 vychází dílo Henryho Graye *Anatomy Descriptive and Surgical* jedná se o značně idealizované didaktické dílo určené pro studenty medicíny.

Postupně dochází k doplnění ilustrovaných atlasů fotografiemi dokumentující reálný průběh pitev. Představitelem dalších druhů atlasů je atlas autora J.C. Bileau Granta jenž demonstruje vzájemné vztahy mezi orgány prostřednictvím kolorovaných fotografií. Poslední stupeň představují atlasy Franka H. Nettera, obsahující skutečné vědecké ilustrace.

Na konci vývoje zobrazování stojí moderní neinvazivní zobrazovací techniky a vynález mikroskopu.

[2],[3]

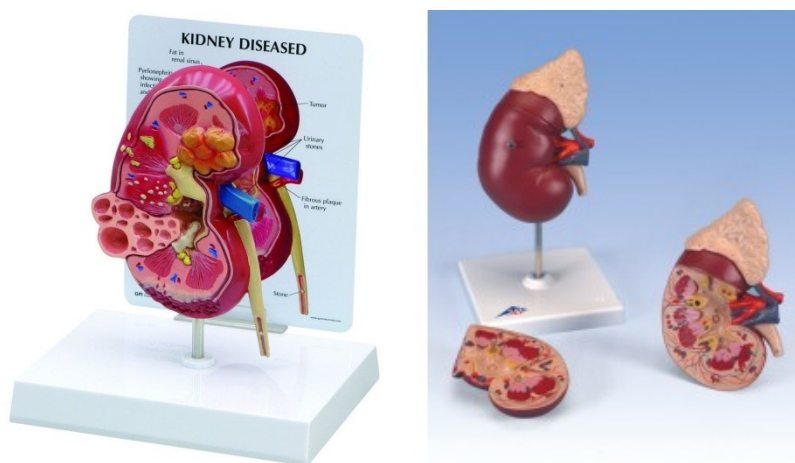
## 4 Přehled modelů dostupných na trhu

Před zahájením vlastního návrhu modelu zvolených orgánů velkého krevního oběhu a ledvin byl proveden průzkum na trhu dostupných modelů.

V oblasti medicíny existuje na trhu nepřehledné množství anatomických statických modelů všech orgánů lidského těla. Tyto modely jsou vyrobeny v 3D i 2D zobrazení. Jejich základní příklady jsou uvedeny níže na obrázcích. Ve většině případů se u statických modelů jedná o model celého orgánu s odnímatelnou částí. Po sejmutí této části je barevně a přehledně zobrazeno vnitřní anatomické uspořádání. Tyto typy modelů, jsou přínosné zejména po anatomické stránce, ale o fyziologii daného orgánu však nic nevypovídají.

Modelů, které by daný orgán popisovaly z hlediska jeho funkce je pouze omezené množství.

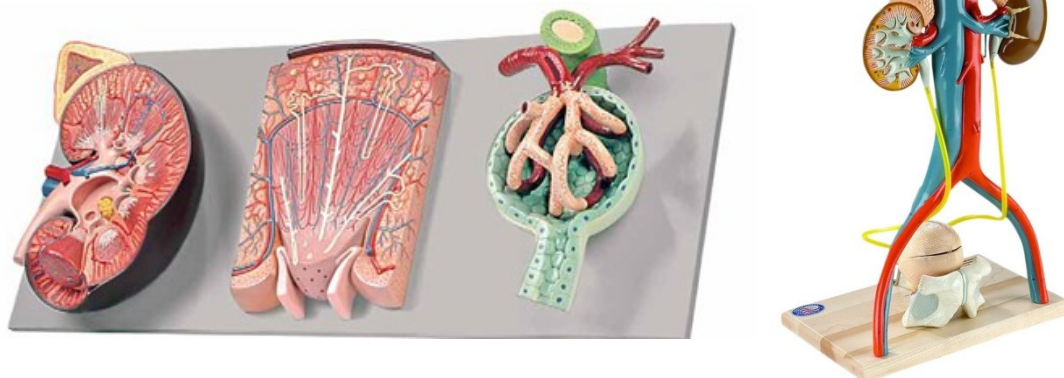
### 4.1 Modely ledvin



**Obrázek 1:** statický model nemocné a zdravé ledviny. [4]

Kromě anatomicky normálních modelů ledvin, existují na trhu i modely ledvin znázorňující jejich různá onemocnění (infekce, zjizvení, atrofie, ledvinné kameny, nádory, polycystické onemocnění, hypertenze). Model je oboustranný, z jedné strany jsou v ledvině zobrazena všechna tato onemocnění a na straně druhé je model zdravé ledviny. Cena takového modelu je asi 50 \$.

Statické modely vnitřního uspořádání a celého vylučovacího ústrojí



**Obrázek 2:** Model vnitřního uspořádání ledviny a celého vylučovacího ústrojí. [5]

Kromě modelů samotných orgánů existují také detailnější modely vnitřního uspořádání. U ledvin se jedná především o modely nefronu a glomerulu. Opačným příkladem jsou modely celého systému, jehož je orgán součástí. Takovým modelem je model vylučovacího ústrojí, jehož součástí jsou nejen ledviny, ale také vývodné cesty močové (močovody, močový měchýř, močová trubice) a cévní zásobení celé oblasti. Cena tohoto konkrétního modelu se pohybuje okolo 430 \$. Jedná se však o ručně vyráběný model, proto je jeho cena vyšší. Obdobné modely je možné pořídit i za nižší cenu.



**Obrázek 3:** Dynamický model nefronu. [6]

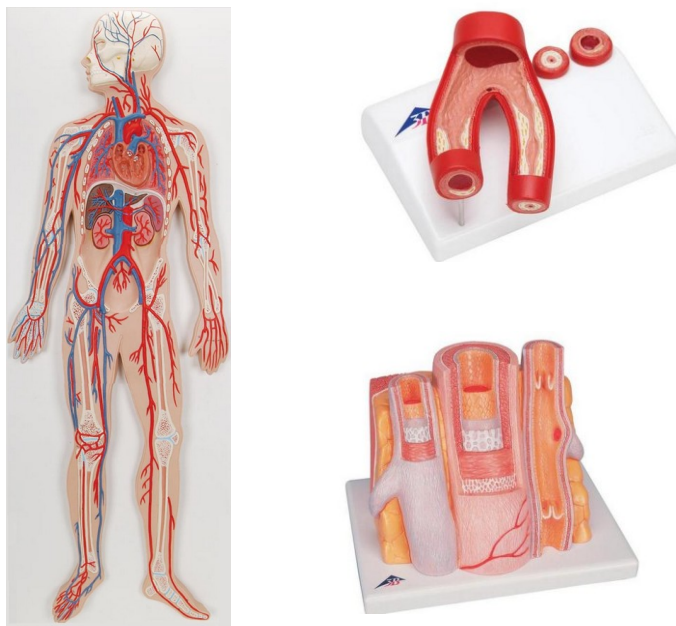
Jako jeden z mála dynamických modelů je model nefronu a jeho krevního zásobení. Protékající krev a moč jsou reprezentovány pouze blikajícími diodami. Další procesy, jako je glomerulární filtrace, tubulární resorpce a tubulární sekrece, jsou rovněž demonstrovány pomocí blikajících LED diod. Samotný model tedy potřebuje zdroj napájení. Celý proces je založen na blikání LED diod, nedochází k reálné cirkulaci tekutin. Na rozdíl od statických modelů má výhodu, že znázorňuje nejen anatomické uspořádání, ale i fyziologii tu však jen v omezené míře.

## 4.2 Modely velkého krevního oběhu

Tak jako u modelů ledvin tak i u velkého krevního oběhu existují statické modely. Ty zahrnují především celý krevní oběh od srdce po konečné větvení. Jak je vidět na modelu na obrázku 6. V modelu jsou zobrazeny i některé orgány a k nim přírodní arterie vznikající jako větvení aorty. Model s pochopitelných důvodů nezachází do větších detailů. Na pochopení anatomického větvení cév je však postačující.

Dalším statickým modelem je model průřezu jednotlivých typů cév (vlásečnice, tepny, žíly). Přehledně a barevně jsou zde rozlišeny odlišnosti ve stavbě stěn cév.

Statické modely umožňují nejen zobrazení anatomicky zdravé tkáně, ale také tkáně poškozené. Na obrázku 6. je tak možné se setkat i s modelem tepny postižené arteriosklerózou.



**Obrázek 4,5,6:** Statický model velkého krevního oběhu, stavby jednotlivých cév a cévy postižené arteriosklerózou. [7]

Dynamický model na obrázku 7 je velmi schématický a je ovládán dvojicí balónků, jenž slouží jako simulace srdeční pumpy. Model je naplněn tekutinou, která je pomocí těchto balónků pumpována celým modelem. Model sám o sobě spíše popisuje funkci malého krevního oběhu. Velký krevní oběh je znázorněn jen velmi symbolicky. Krev žilní a tepenná jsou navzájem rozpoznatelné pomocí různobarevných hadiček. Model nevyžaduje zdroj napájení.

Druhý model na obrázku je více detailnější, nedochází však u něj k reálné cirkulaci tekutiny. Veškeré průtoky krve cévami jsou reprezentovány pouze blikajícími LED diodami. Ovládání modelu je pomocí tlačítek. Model tedy vyžaduje zdroj napájení.



**Obrázek 7:** Dynamické modely velkého srdečního oběhu.[7],[9]

### 4.3 Softwarové modely

V současné době jsou softwarové modely stále populárnější, neboť umožňují zábavnější a interaktivní formu výuky. Modely lze ve virtuálním prostředí natáčet a prohlížet z různých úhlů. Díky kvalitní grafice jsou tyto modely velmi detailní a umožňují přiblížení jednotlivých struktur. Jako zástupce těchto Softwarových modelů je vybrán Anatomy Expert.

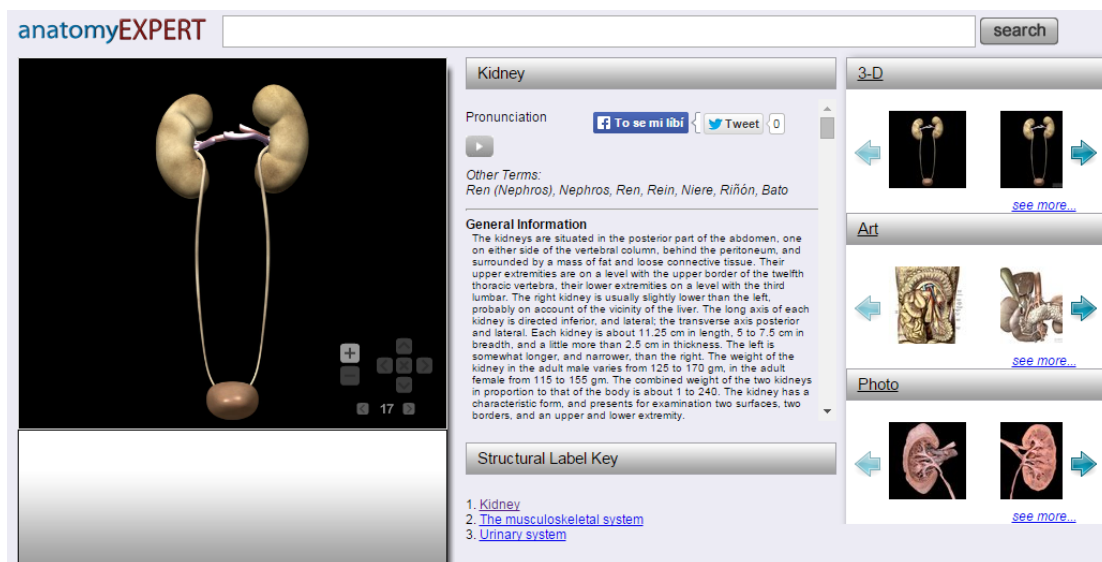


## Anatomy expert

Mottem autorů tohoto portálu je, že databáze anatomických modelů by měla být k dispozici každému, z tohoto důvodu jsou základní funkce dostupné zdarma.

Vyhledávání je jednoduché pomocí abecedního anglického rejstříku. Po zadání libovolného hesla je uživatel přesměrován na stránku se stručným popisem zvoleného orgánu. Nachází se zde také ilustrované obrázky nebo fotodokumentace. Lze je přibližovat a v případě 3D modelů libovolně natáčet. Ve spodních částech stránky se nacházejí související hesla a synonymní výrazy.

Při tvorbě virtuálních modelů byl nejprve vytvořen celkový 3D model. Následně byly izolovány jednotlivé struktury, které pak byly nasnímány ze 30 úhlů – umožnění rotace objektů. Ne všechny ilustrace jsou vytvořeny virtuálně, některé byly převzaty ze starších lékařských knih a upraveny. U obrázků a modelů však chybí popisky a zobrazení detailů a reliéfů.



**Obrázek 8:** Softwarový výukový model Anatomy expert. [10]

## 5 Anatomie a fyziologie velkého krevního oběhu a ledvin

### 5.1 Velký krevní oběh

#### Cévní systém

Céva = dutý trubicovitý orgán. Cévy jsou podle stavby a funkce rozděleny na tři druhy:

- tepny (arterie) – ze srdce, přivádí okysličenou krev ke tkáním a orgánům,
- žíly (věna) – do srdce, přivádí odkysličenou krev z tkání a orgánů do srdce,
- vlasečnice (kapiláry) – mezi tepnami a žilami, na jejich úrovni dochází k výměně látek mezi krví a tkáněmi.

#### Obecná stavba cév

- vnitřní vrstva – endotel, jednovrstevný plochý epitel vystýlající cévu. Hlavním úkolem endotelu je vytvářet nesmáčivý povrch cév a oddělení tak krevního toku od cévy. Další jeho úkoly jsou: podíl na antitrombotickém působení a také na sekreci vazodilatátoru NO a endotelinu (vazokonstrikční účinky) – ty mají vliv na hladkou svalovinu a ovlivňují tak krevní průtok,
- hladká svalovina – tvoří ji elastické vazivo a hladká svalovina. V aortě a dalších velkých cévách převažuje vazivová složka, směrem k periferiím je to složka svalová. Stah svaloviny způsobuje vazokonstrikci cév (vliv angiotensinu II a endotelinu). Opakem je pak relaxace svaloviny tzv. vazodilatace (vliv NO – oxid dusný),
- vnější vazivová – obsahuje elastická vlákna a nervová zakončení. Vazivová vrstva vytváří elastická kolagenní vlákna, fixují cévu do okolní tkáně a umožňují mechanické vlastnosti cévy.

#### 5.1.1 Uspořádání cévního systému

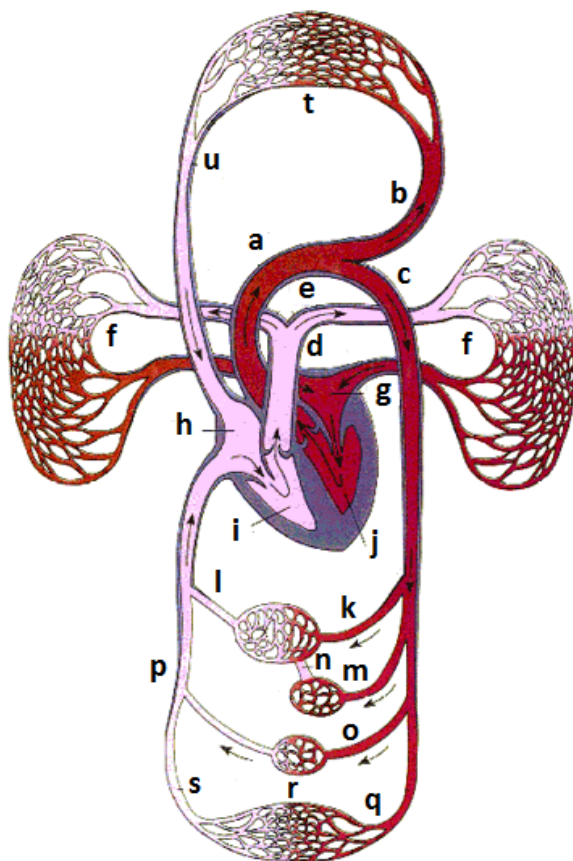
##### Malý krevní oběh

Z pravé komory odstupuje plicní tepna (arteria pulmonáris) ta se větví na pravou a levou plicní tepnu pro pravou a levou plíci. V plicích dochází k okysličení krve v plicních sklípcech. Okysličená krev se pak vrací do levé síně čtyřmi plicními žilami (venae pulmonales).

## Velký krevní oběh

Velký krevní oběh začíná v levé srdeční komoře a končí v pravé srdeční síni. Skládá se ze srdce arteriálního venózního a kapilárního řečiště.

Z levé komory odstupuje aorta a všechny další tepny vznikají jejím postupným větvením. Tepny přecházejí ve vlásečnice, ty se pak spojují v žíly. Konečné větve žil jsou horní a dolní dutá žíla (*venae cava inferior* a *venae cava superior*) ty pak ústí do pravé síně. Výjimkou jsou portální oběhy, které začínají a končí vlásečnicemi. Portální oběh začíná při odvádění krve z nepárových orgánů dutiny břišní. Vrátnicová žíla tuto krev přivádí do jater. Z jater je pak krev odváděna jaterními žilami do dolní duté žíly.



- a) Aorta
- b) Větve pro zásobení horních končetin a hlavy
- c) Sestupná aorta
- d) Plícní kmen
- e) Plícní tepny
- f) Krevní oběh plic
- g) Levá srdeční síň
- h) Pravá srdeční síň
- i) Pravá srdeční komora
- j) Levá srdeční komora
- k) Jaterní tepna
- l) Jaterní žíla
- m) Tepny pro nepárové orgány dutiny břišní.
- n) Portální žíla
- o) Ledvinná tepna
- p) Dolní dutá žíla
- q) Arterie pro dolní končetiny
- r) Krevní oběh dolní končetiny
- s) Žíly dolních končetin
- t) Cévní zásobení hlavy
- u) Horní dutá žíla

**Obrázek 9:** Schematické znázornění krevního oběhu. [11]

## Vrátnicový oběh

Vrátnicový oběh je součástí velkého krevního oběhu. Jeho začátek i konec tvoří síť kapilár. Kapiláry odvádějí krev z nepárových orgánů dutiny břišní (žaludek, střeva, slinivka břišní, slezina) a postupně se spojují až ve vrátnicovou žílu. Vrátnicová žíla vstupuje v oblasti jaterní branky do jater. Zde je přiváděná krev rozvedena k jaterním lalůčkům. Z jater je pak krev odváděna jaterní žílou do dolní duté žíly.

### 5.1.2 Větvení krevního oběhu

#### Arteriální část velkého krevního oběhu

Základní funkcí arteriální části velkého krevního oběhu je přepravit krev pod tlakem do tkání. Na konci řečiště se nacházejí arterioly, jejichž úkolem je distribuce krve do kapilárního řečiště, které pak krev rozvádí do kapilární sítě jednotlivých orgánů. Krev je do aorty vypuzena pod tlakem, to vyvolá v aortě přechodné zvýšení tlaku – tlakový pulz. Nejvyšší dosažená hodnota tlaku se nazývá systolický tlak a nejnižší hodnota je pak nazývána jako diastolický tlak. Tlakový a objemový pulz se krevním řečištěm šíří jako pulzová vlna. Rychlost jejího šíření je vyšší než rychlost proudící krve. Rychlost pulzní vlny je ovlivněna elasticitou cév a poměrem mezi tloušťkou stěny a jejich poloměrem. Rychlost je tím vyšší, čím je céva méně elastická a čím je poměr mezi její tloušťkou a poloměrem větší.

[12]

#### Tepny velkého krevního oběhu

VZESTUPNÁ AORTA - ze vzestupné aorty odstupují pravá a levá věnčitá tepna (*arteria coronaria dexter* a *sinister*). Tyto tepny slouží k zásobení myokardu krví.



**Obrázek 10:** Větvení aorty pro horní končetiny a oblast hlavy.

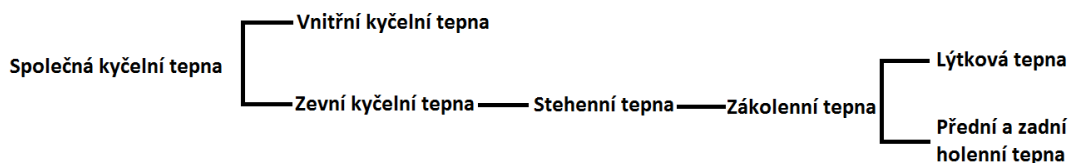
OBLOUK AORTY (*arcus*) - ten má tři větve:

- vnitřní krkavice vyživuje krví oko a mozek,
- zevní krkavice vyživuje krví štítnou žlázu, hrtan, jazyk, svaly obličeje, zuby, a nosní dutinu,
- větenní tepna a loketní tepna vytvářejí oblouky, ze kterých odstupují tepny pro prsty.

HRUDNÍ AORTA – v tomto úseku už aorta sestupuje podél páteře, v hrudní oblasti od ní odstupují mezižeburní tepny, tepny k jícnu, tepny k průduškám a osrdečníku.

#### BŘIŠNÍ AORTA

- nástěnné větve: větve pro bránici a zadní stěnu břišní,
- párové větve orgánové: ledvinné a nadledvinné tepny, tepny pro vaječníky a varlata, dále tepny svaloviny bránice a stěny dutiny břišní,
- nepárové větve orgánové: játra, žaludek, slezina, slinivka břišní, střeva (horní okružní tepna, dolní okružní tepna),
- konečné větve: rozvětvením břišní aorty vzniká pravá a levá společná kyčelní tepna,



**Obrázek 11:** Větvení společné kyčelní tepny pro zásobení dolních končetin.

- vnitřní kyčelní tepna přivádí krev k orgánům malé pánve – konečník, močový měchýř, děloha.

#### Venózní část velkého krevního oběhu

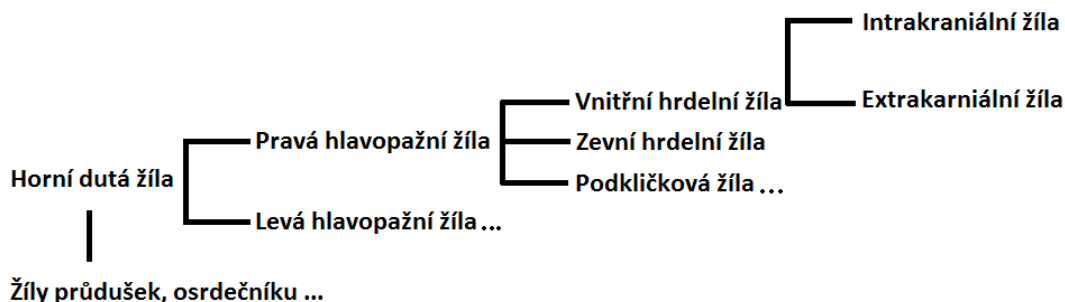
Žilní stěna obsahuje hladkou svalovinu, která je inervována sympatikem. Sympatikus zajišťuje její kontrakci a tím i zvýšení tlaku v žilách a zrychlení žilního návratu do pravé předsíně. Tlak v žilách je také ovlivněn gravitací a polohou těla. Poloha těla tedy významně ovlivňuje hemodynamiku a žilní návrat. Ve venulách a malých vénách je tok krve kontinuální, ve velkých žilách se objevují pulzace, které vznikají činností pravé předsíně. Rychlost toku roste od venul k srdci. Žilní návrat je podporován pomocnými mechanismy:

- svalová pumpa - dochází ke stlačování žil kosterními svaly v době jejich kontrakce, krev je vytlačovaná směrem k srdci (zpětnému toku brání žilní chlopně),
- dýchání - v průběhu nádechu dochází k poklesu nitrohruďního tlaku, tím dochází k nasávání krve do dutých žil a pravé síně. Při nádechu dochází také k poklesu bránice a zvýšení nitrobřišního tlaku a krev je vytlačována z břišní dutiny směrem k srdci,
- sací síla srdce – při atrakce myokardu komor jsou cípate chlopně taženy dolů, dochází tak k roztažení předsíní, a k poklesu tlaku v nich,
- žilní puma - ve střední vrstvě žil se nacházejí svalová vlákna, ty mohou aktivně vytvářet kontrakce, celková vazokonstrikce na za následek zvýšení žilního návratu.

### Žíly velkého krevního oběhu

#### HORNÍ DUTÁ ŽÍLA (VENA CAVA SUPERIOR)

Vytváří soutok, do kterého je přiváděna krev z oblasti hlavy, krku, horních končetin a stěny hrudníku. Její vznik je znázorněn na obrázku ...



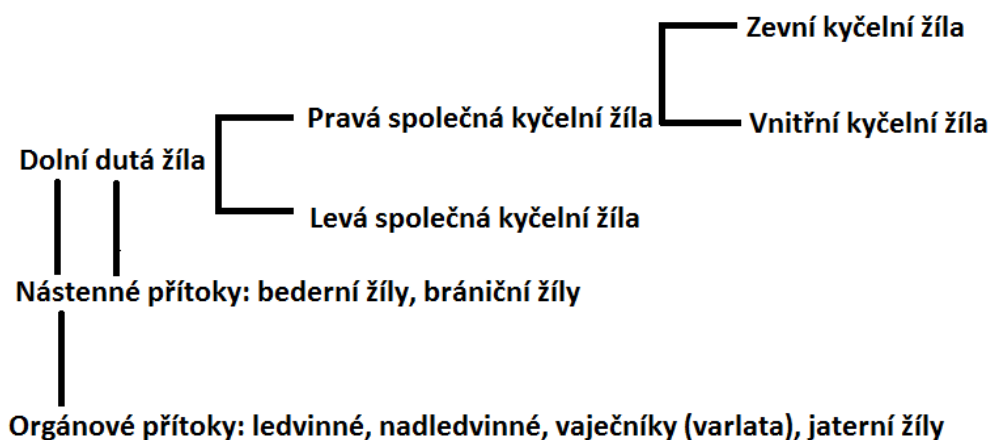
**Obrázek 12:** Žilní řečiště odvádějící krev z oblasti hlavy a horních končetin.

Žíly horní a dolní končetiny vytvářejí dva systémy:

- hluboký: většinou zdvojené provázejí stejné tepny,
- povrchový: uložené v podkoží
  - horní končetina – hlavová a královská žíla, spojují se v loketní jamce,
  - dolní končetina – velká skrytá žíla (vnitřní kotník), malá skrytá žíla (zevní kotník).

#### DOLNÍ DUTÁ ŽÍLA (VENA CAVA INFERIOR)

Probíhá vpravo od sestupné aorty. Odvádí krev z dolních končetin pánve a dutiny břišní. Prostupuje bránicí otvorem dolní duté žíly a ústí do pravé srdeční síně.



**Obrázek 13:** Žilní řečiště odvádějící krev z dolních končetin břišní dutiny.

[12], [13], [14]

## 5.2 Vylučovací ústrojí

Pro fungování vylučovacích orgánů a zajištění stálosti vnitřního prostředí musí platit rovnováha mezi množstvím látek do organismu vstupujících a množstvím těchto látek z organismu vylučovaných. Vylučovací orgány lze také popsat jako regulační prvky, které neustále přizpůsobují množství vody, iontů a dalších látek vyloučené z organismu jejich proměnlivému příjmu. Díky těmto regulačním funkcím orgánů je možné udržení relativně stálého složení vnitřního prostředí i přes fakt, že příjem různých látek v čase značně kolísá. Vztah mezi příjmem a výdejem jakékoliv látky označujeme jako její bilanci.

Rozeznáváme tři druhy bilance:

- **vyrovnaná bilance** – příjem látky a výdej v rovnováze,
- **pozitivní bilance** – příjem látky je vyšší než výdej,
- **negativní bilance** – příjem látky je nižší než její výdej.

Vylučovací a regulační funkce ledvin jsou úzce propojeny a můžeme je rozdělit do několika základních funkcí, které slouží k udržení stálého vnitřního prostředí.

<u>REGULACE</u>	<u>VYLUČOVÁNÍ</u>
Osmolarity a objemu tělesných tekutin	vody, $\text{Na}^+$ , $\text{Cl}^-$
Acidobazické rovnováhy	$\text{H}^+$ , $\text{HCO}_3^-$
Elektrolytické rovnováhy	ostatní ionty: $\text{K}^+$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ a další
Stálá koncentrace těchto látek v ECT	produktů metabolismů a cizorodých látek
Produkce a sekrece hormonů (renin, erythropoetin, prostaglandiny, kininy...)	

### 5.2.1 Popis a uložení ledvin

Ledviny jsou párový orgán, představují začátek vylučovacího ústrojí. Jsou uloženy retroperitoneálně po stranách bederní páteře ve vazivovém pouzdru. Jejich umístění zaručuje nejen termosabilitu, mechanickou ochranu zajišťovanou zádonými svaly, ale i dobrý přívod krve díky minimální vzdálenosti od hlavního cévního zásobení – břišní aorty.

Vnitřní uspořádání ledvin je rozděleno na vnější kůru a vnitřní dřeň. V kůře jsou uloženy glomeruly, proximální a distální tubuly a korové části sběrných kanálků. Dřeň je tvořena pyramidovými útvary (v každé ledvině je jich asi 20), jejich vrcholy ústí do ledvinných kalichů a ty pak do ledvinné pánvičky, která je začátkem vývodných cest močových. V dřeni jsou uloženy Henleovy kličky, jejich ohyb do dřene je tím níž, čím hlouběji je v kůře uložen jejich glomerulus.

### 5.2.2 Cévní zásobení

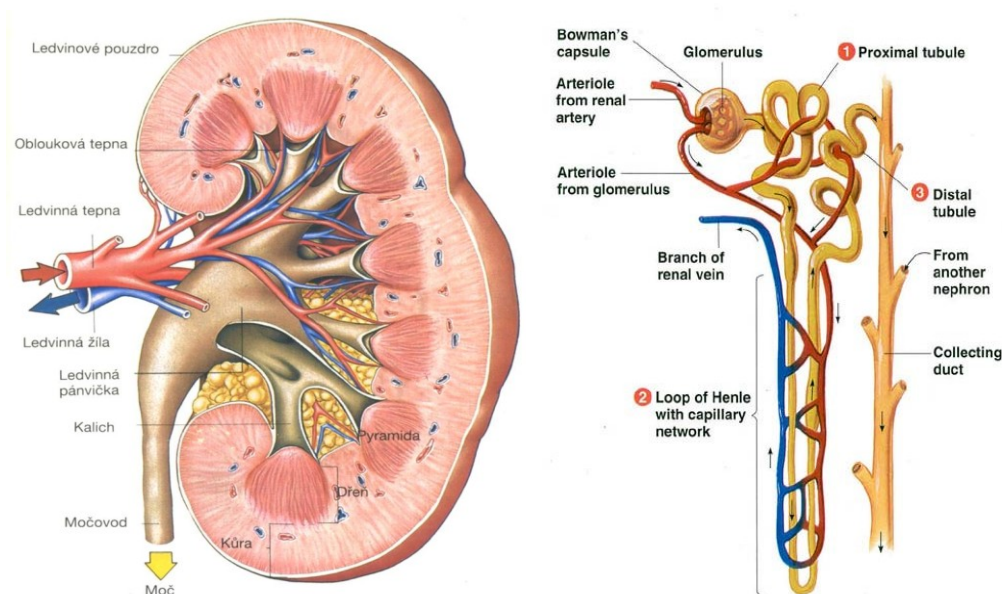
Aby mohlo dojít k ultrafiltraci krevní plazmy v ledvinách, je nutný vysoký tlak krve v kapilárách ledvinného tělíska. Z tohoto důvodu je krev do ledvin přiváděna mimořádně krátkou renální arterií odstupující z břišní aorty. Renální artérie se před vstupem do ledvin dělí na ventrální a dorzální větev. Po vstupu do ledviny dochází k jejímu postupnému větvení (na aa. Interlobares, aa. Arcuatae, a aa. Interlobulares) a tím ke vzniku přívodní (aferentní) arterie do glomerulů. Aferentní arterioly přivádějí krev ke kapilárním klubíčkům v ledvinných tělískách. Krev je z glomerulárních kapilár odváděna eferentními arterioly. Eferentní arterioly se dělí do dvou kapilárních sítí



- peritubulární kapiláry – odstupují z eferentních arterioli kortikálních nefronů. Jejich úkolem je zásobení krví korových částí tubulárního systému (proximální a distální tubuly),
- vasa recta – odstupují z juxtamedulárních nefronů a zásobují krví dřeňové úseky tubulárního systému (Henleova klička a sběrný kanálek).

Krev z peritubulárních kapilár a vasa recta odtéká do interlobulárních žil dále do venae arcuatae a interlobárních a renálních žil.

Ledvinami proteče okolo 25% klidového minutového srdečního výdeje tedy něco mezi 1200 – 1300 ml/min. Z toho 90% protéká kůrou ledvin a jen 10% dřením. Za 24 hodin tedy proteče veškeré extracelulární tekutina ledvinami 70krát.



**Obrázek 14.** Stavba ledviny a základní funkční jednotka ledviny – nefron. [15]

### 5.2.3 Funkční uspořádání

Základní funkční jednotkou ledviny je nefron. V každé ledvině se jich nachází více než milion. Úkolem nefronů a cév je vlastní práce ledvin – vytvoření filtrátu z plazmy a pak z filtrátu vytvoření definitivní moče. To probíhá na základě několika procesů – filtrace, resorpce a exkrece látek z krevní plazmy. Filtrační proces začíná v glomerulech, kde je přiváděna krev

pomocí vas afferens, která tvoří síť kapilár (glomerulus) zanořených do Bowmanova pouzdra. Při průchodu krve touto sítí kapilár dochází k pasivnímu pohybu vody a nízkomolekulárních látek z plazmy do Bowmanova pouzdra – glomerulární filtrace. To vše se odehrává díky vysokému filtračnímu tlaku.

Glomerulární filtr: v kapilárách glomerulu se nachází endotelové buňky, které překrývá bazální membrána a tu obklopují podocyty (epitelové buňky) – ty tvoří viscerální vrstvu Bowmanova pouzdra a na jeho vaskulárním pólu přecházejí v parietální vrstvu. Mezi oběma vrstvami vzniká takzvaný Bowmanův prostor, ten pak přechází v začátek proximálního tubulu. To vše dohromady tvoří filtrační bariéru - glomerulární filtr. Přes filtrační bariéru volně prostupuje voda, malé soluty a albuminy. Pro krevní elementy je za fyziologického stavu membrána nepropustná stejně tak jako pro plazmatické bílkoviny, ty jsou zadrženy v cévním řečišti díky bazální membráně tvořené převážně proteiny (nefrin). Membrána svým negativním nábojem plazmatické bílkoviny odpuzuje (také negativní náboj) a brání tak jejich prostupu.

Podle tvaru a uložení lze nefrony rozdělit na dva základní typy:

- povrchové (kortikální) – je jich převážná většina, jsou uloženy převážně v zevní vrstvě kůry, pouze kousek Henleovy kličky. Ta zasahuje do dřeně,
- hluboké (juxtamedulární) – ledvinná tělíska nefronů jsou větší, ale je jich početně méně. Jsou umístěna blízko rozhraní se dření. Henleova klička dlouhá a zasahuje hluboko do dřeně.

Oba typy nefronů se od sebe liší pouze svojí schopností produkovat koncentrovanou nebo zředěnou moč – důležitý význam pro udržení osmolarity. Tuto schopnost mají juxtamedulární nefrony. Kortikální tuto schopnost nemají.

#### **5.2.4 Proces tvorby moči**

Denní produkce moči zdravého dospělého člověka je 1-2 litry. Produkce moči však není rovnoměrná, během dne je vytvořeno 60-80% celkové denní produkce. V noci dochází k relativní retenci vody. Na tvorbě moči se podílí tři pochody:

- glomerulární filtrace,
- tubulární resorpce,
- tubulární sekrece.

#### **Glomerulární filtrace**

Filtrace je možná na základě Starlingových sil v glomerulárních kapilárách. Součet Starlingových sil vytváří výslednou sílu, kterou nazýváme glomerulární filtrační tlak (GEP).

$$GEP = P_{GC} - P_{BC} + \pi_{BC} - \pi_{GC}$$

[12]

- $P_{GC}$  - tlak krve v glomerulárních kapilárách (60 mm Hg),
- $P_{BC}$  - hydrostatický tlak v Bowmanově pouzdře, působí proti tlaku v kapilárách a tedy i proti filtraci (15 mm Hg),
- $\pi_{BC}$  - onkotický tlak v Bowmanově pouzdře (0 mm Hg),
- $\pi_{GC}$  - onkotický tlak plazmatických bílkovin (25 – 29 mmHg).

Velikost glomerulární filtrace je závislá na tlaku krve v glomerulárních kapilárách a průtoku krve ledvinami. V ledvinách je průtok krve řízen dvěma mechanismy - lokálními a centrálními.

**a) Lokální mechanismy:**

- myogenní autoregulace – udržení stálého průtoku krve orgánem i při změně tlaku krve,
- tubuloglomerulární zpětná vazba – udržení glomerulární filtrace konstantní i za různých okolností. Je založena na faktu že každý nefron monitoruje svou vlastní úroveň glomerulární filtrace, za pomoci receptorů macula densa.

**b) Centrální mechanismy** – nervová (sympatikus) a hormonální regulace (angiotensin II, adrenalin).

### **Tubulární procesy**

V glomerulech denně vzniká 180 l ultrafiltrátu krevní plazmy. Více než 99% ultrafiltrátu je za pomoci tubulárních procesů opět reabsorbováno a do tubulárního systému je tak za 24 hodin vyloučeno pouze 1,5 l moči. Úkolem tubulárních procesů je upravení výsledného objemu a složení moči.

Soluty mohou být reabsorbovány pasivně nebo pomocí aktivních transportů. Pasivní transport je uskutečněn pomocí difuze ve směru elektrického nebo koncentračního gradientu. Aktivní transport je energeticky náročný a probíhá po elektrochemickém gradientu.

Látky mohou být v tubulárním systému reabsorbovány:

- transcelulárně (přes epitelové buňky tubulu) – pasivní a sekundárně aktivní transport,
- paracelulárně (přes spoje mezi epitelovými buňkami) – pasivní transport.

### **Sekundárně aktivní transport:**

Aktivní část je tvořena  $\text{Na}^+ - \text{K}^+$  - ATPázovou pumpou, umístěnou na bazolaterální membráně. Vzniká koncentrační gradient pro  $\text{Na}^+$ , ten přestupuje podle elektrochemického gradientu z tubulární tekutiny do epitelových buněk. Proteinové kanály, které tento přestup  $\text{Na}^+$  umožňují,

fungují jako symportéry ( $\text{Na}^+$  přestupují i s další látkou) nebo antiportéry ( $\text{Na}^+$  přestupují proti jiné látce).

### **Proximální tubulus**

Hlavním úkolem je zpětné reabsorbování 67% glomerulárního filtrátu bez ohledu na hydrataci organismu. Do Henleovy kličky pak přitéká izotonická tekutina, jejíž objem je oproti primárnímu ultrafiltrátu pouze třetinový. Na resorpci solutů a vody se podílí  $\text{Na}^+$  -  $\text{K}^+$  - ATPázová pumpa.

V první polovině proximálního tubulu jsou reabsorbovány  $\text{Na}^+$  transportovány s  $\text{HCO}_3^-$  a s organickými látkami (glukóza, fosfáty, močovina, aminokyseliny). Glukóza, aminokyseliny a většina ostatních organických látek se kompletně reabsorbují a v dalších částech nefronu se už nenacházejí. Dochází – li ke zvýšení těchto látek (např. glukózy) v krevní plazmě, dochází k překročení její transportní kapacity a přebytek je nereabsorbovaný a zůstává pak v definitivní moči. Těmto látkám se také říká látky prahové – jejich transportní mechanismus je satureovatelný. Reabsorbované látky jsou osmoticky aktivní a následuje je pasivní transport vody. Důsledkem resorbce vody je vzestup koncentrace  $\text{Cl}^-$ .

Druhá polovina proximálního tubulu. Zde dochází k transportu  $\text{Na}^+$  a  $\text{Cl}^-$ , ty přestupují velmi rychle díky své vysoké koncentraci. Zpětná resorpce  $\text{Cl}^-$  vede ke vzniku elektrické nerovnováhy mezi tubulární tekutinou a intersticiem. V tubulární tekutině zůstává nadbytek kladně nabitých iontů. V proximálním tubulu také dochází k resorpci bílkovin. Bílkoviny sice procházejí přes filtrační membránu jen v omezeném množství. Jedná se především o malé množství albuminů, peptidové hormony a malé proteiny. Tyto proteiny jsou částečně reabsorbovány endocytózou a částečně rozštěpeny proteolytickými enzymy na aminokyseliny které jsou pak reabsorbovány. Fyziologicky se tedy bílkoviny v definitivní moči nevyskytují. V proximálním tubulu také dochází k sekreci organických látek:

- endogenní - produkty metabolismu: dopamin, adrenalin, žlučové soli atd.,
- exogenní – cizorodé látky: léky, morfin, penicilin, salicyláty.

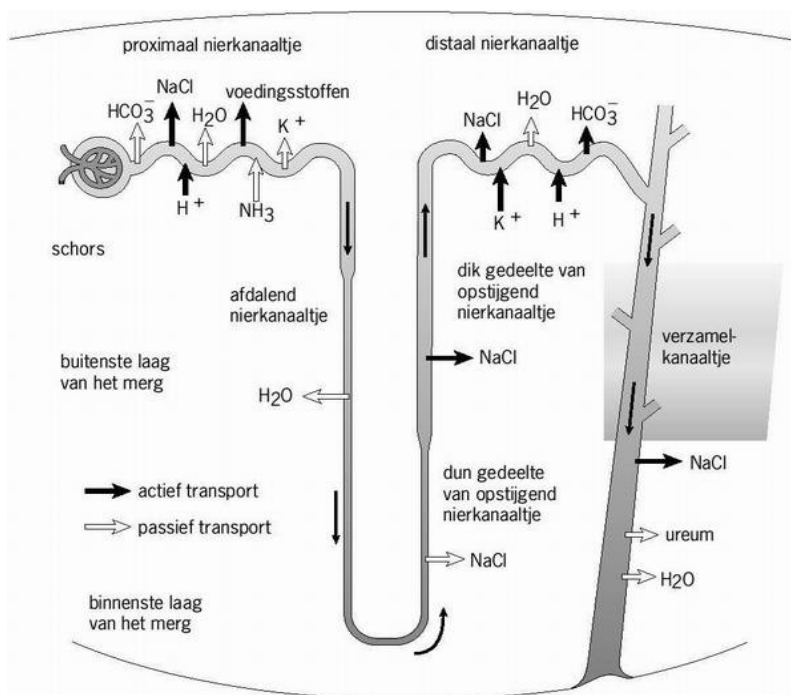
### **Henleova klička**

V Henleově kličce dochází ke zpětnému reabsorbování okolo 25% solutů a asi 15% vody. K reabsorbování solutů dochází v tlustém segmentu vzestupného raménka, zatímco voda pouze v sestupném raménku, vzestupné je pro vodu nepropustné. To, že dochází k oddělené reabsorbci vody a solutů, je důležité pro zahušťovací nebo zředovací schopnost ledvin – důležité pro udržení stálé osmolarity. Resorpce solutů je založena na  $\text{Na}^+$  -  $\text{K}^+$  - ATPázové pumpě. Do Henleovy kličky přitéká izotonický roztok. Na základě procesů, jenž v Henleově kličce probíhají, dochází k přeměně tohoto roztoku na hypotonický a ten pak ústí do distálního tubulu.

### Distální tubulus a sběrný kanálek

V distálním tubulu dochází k resorpci 7% filtrovaných solutů a k proměnlivé resorpci vody. Množství resorbované vody je závislé na koncentraci antidiuretického hormonu (ADH). V distálním tubulu a sběrném kanálku tak dochází k definitivní úpravě moči a jsou také významné při udržení stálé osmolarity, pH a iontového složení extracelulární tekutiny. V první části distálního tubulu pokračuje resorpce iontů  $\text{Na}^+$  a  $\text{Cl}^-$ . To přispívá k dalšímu poklesu osmolarity tubulární tekutiny, neboť i tato část je pro vodu nepropustná. V konečném segmentu distálního tubulu a sběrném kanálku se nachází dva typy buněk:

- hlavní buňky - jejich úkolem je resorpce  $\text{Na}^+$  a vody a sekrece  $\text{K}^+$ ,
- vmezežené buňky - sekrece  $\text{H}^+$  nebo  $\text{HCO}_3^-$ ; obsahují karbohydrázu a jsou zodpovědné za řízení acidobazické rovnováhy.



**Obrázek 15:** Glomerulus a průběh tubulárních procesů.[16]

### 5.2.5 Řízení tubulárních procesů

- a) **lokální regulační mechanismy** – jejich uplatnění je především v oblasti proximálního tubulu, kde mají za úkol uzpůsobovat zpětnou resorpci vody a zachovávat ji vždy na

67%, a to v závislosti na množství ultrafiltrátu. Pro tento účel mají ledviny více mechanismů, mezi hlavní pak patří Stárlingových sil.

b) **Centrální regulační mechanismy** – jedná se především o vliv ADH, aldosteronu, adrenalin, parathormon, angiotensin II.

- ADH – nejdůležitější hormon regulující vodní bilanci. ADH je produkován hypothalamem a uvolňován v neurohypofýze. Jeho uvolnění je závislé na závislé osmolaritě extracelulární tekutiny. V okamžiku, kdy se ADH v plazmě nevyskytuje, jsou buňky distálního tubulu pro vodu nepropustné. Se zvyšujícím se množstvím ADH v plazmě dochází k větší propustnosti buněk distálního tubulu pro vodu,
- Aldosteron – jeho význam je především v oblasti udržení stálé koncentrace  $K^+$  v plazmě. Podporuje sekreci  $K^+$  a resorpci  $Na^+$  ve sběrném kanálku. Aldosteron je uvolňován jako odpověď na zvýšené množství  $K^+$  v plazmě nebo na množství angiotensinu II.
- Angiotensin II – stimuluje sekreci aldosteronu a resorpci  $Na^+$  a vody v proximálním tubulu. Uplatňuje se v regulaci stálého objemu extracelulární tekutiny – má tedy stejné účinky jako aldosteron. Rozdíl mezi nimi je v místě kde se uplatňuje. Angiotensin působí na začátku tubulárních procesů, aldosteron na jejím konci,
- Sympatikus a adrenalin – resorpci  $Na^+$  a vody v proximálním tubulu a vzestupném raménku Henleovy kličky.
- Parathormon – zpětná resorpce  $Ca^{2+}$ .

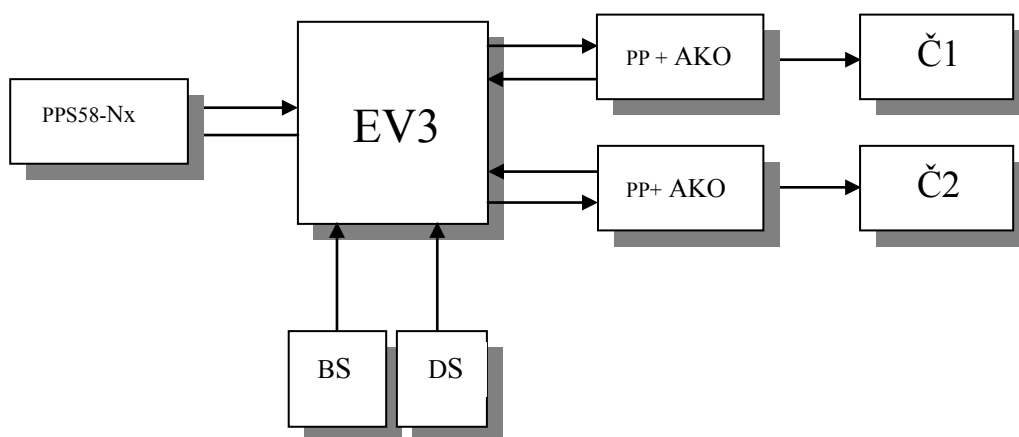
[12], [13], [14]

## 6 Návrh modelu

V teoretické části byly popsány vybrané modely dostupné na trhu a k vybraným orgánům jejich anatomie a fyziologie. Praktická část je věnována samotnému návrhu modelů a výběru součástek, ze kterých bude model sestaven. Dále pak samotná realizace a propojení modelů s napájecím a řídicím obvodem. Následuje popsání softwarového naprogramování a oživení celého modelu. Poslední kapitola je pak věnována zhodnocení práce a výsledky ze závěrečných testování.

### 6.1 Blokové schéma

Schéma je univerzální pro oba typy modelů. Blokové schéma představuje propojení všech základních částí modelu. Řídicím a napájecím členem je zde inteligentní kostka EV3 od firmy Lego. Pomocí digitálního komunikačního rozhraní I2C je ovládán senzor tlaku (PPS58-Nx) a výsledky měření jsou zobrazovány na displeji EV3. Přes stejné rozhraní jsou ovládána dvě čerpadla (Č1, Č2), uvádějící do pohybu tekutinu v plastových hadičkách. V cestě mezi EV3 a čerpadly jsou v každé signálové cestě připojeny propojovací prvky s astabilním klopným obvodem (PP + AKO). Prioritní funkcí těchto bloků je propojení EV3 a čerpadel. Doplnkovým prvkem je zde AKO. Jako poslední jsou zde dva vstupní senzory a to barevný (BS) a dotykový (DS). Jednotlivé bloky a jejich funkce v rámci modelů jsou detailněji popsány níže.



**Obrázek 16:** Blokové schéma řízení modelů.

## 7 Závěr

Cílem diplomové práce nebylo vytvoření modelů, které by odpovídaly reálným fyziologickým, anatomickým či fyzikálním principům, k nimž může v lidském organismu docházet, ale schematicky a zjednodušenou zábavnou formou předvést anatomické poznatky a fyziologickou funkci

První kapitoly diplomové práce jsou věnovány teoretickému rozboru problematiky fyziologie a anatomie velkého krevního oběhu a ledvin. Následuje kapitola představující nejčastěji dostupné modely lidských orgánů na trhu.

Těmito kapitolami byla ukončena veřejná teoretická část diplomové práce.

Jako první jsem vytvořila základní blokové schéma popisující funkci obou modelů. Následně pak pro každý model bylo navrženo samostatné schéma. A vybrala jsem součástky, z nichž bude každý model sestaven.

Další kapitolu jsem pak věnovala ovládacímu a napájecímu prvku celého modelu a to inteligentní kostce VE3 od firmy Lego.

Při prvotním experimentu propojení EV3 a čerpadel jsem zjistila, že proto, aby EV3 vysílalo PWM signál k roztočení čerpadel je nutná zpětná vazba mezi čerpadlem a EV3. Originální motory od firmy Lego tuto zpětnou vazbu vytvářejí. V tomto zapojení ji však bylo nutné vytvořit a “oklamat” EV3. Jako řešení tohoto problému se ukázalo zařazení astabilního klopného obvodu, jenž vysílá signál zpět do EV3. Toto řešení se ukázalo jako vyhovující a bylo možno tedy napájení a ovládání čerpadel pomocí EV3.

Abych mohla provést měření tlaku v obou modelech, bylo nutné tlakový senzor PPS58-Nx opatřit membránou, a to proto, že se jedná o tlakový senzor měřící pouze tlak vzduchu. Pokud by došlo ke kontaktu tohoto senzoru s kapalinou vedlo by to k jeho zničení. Po instalaci do obvodu modelu jsem provedla kontrolní měření k ověření jeho funkčnosti. Měření bylo provedeno v jednotkách milibar a to z důvodu nejvyšší citlivosti. Naměřené hodnoty se v jednotlivých režimech lišily (při zvýšení průtoku došlo ke zvýšení tlaku v hadičkách a při snížení průtoku k poklesu tlaku). Takto naměřené změny se od sebe příliš nelišily a to z důvodu, že použité palivové čerpadlo Modelcraft nemá dostatečně velký výkon k vytvoření vyššího tlaku v obvodu. Tato diplomová práce, byla však limitována cenou celého modelu a nutností napájení čerpadel pomocí EV3. V případě, že by bylo možné napájení čerpadel z externího zdroje a navýšení rozpočtu jako ideální se jeví zakoupení výkonnějších čerpadel. Nicméně i s tímto nedostatkem tlakový senzor funguje a ukazuje, i když jen v omezené míře, fyzikální princip zvýšení tlaku při zvýšení průtoku.



Problém s nedostatečným výkonem čerpadel jsem zaznamenala i u modelu velkého krevního oběhu. Model je svou velikostí a složitostí dosti rozsáhlý a obsahuje mnoho větvení. To vše klade protékající kapalině značný odpor a čerpadlo, i když pracuje na plný výkon, nedokáže přečerpat tak velké množství tekutiny, jako je tomu v případě modelu ledvin. Tok v hadičkách je zachován, ale na rozdíl od modelu ledvin je pomalejší. I tento drobný nedostatek je řešitelný výkonnějším čerpadlem.

U modelu ledvin nedochází k tomuto problému a tento model pracuje ve všech nastavených režimech tak jak má.

Diplomová práce splňuje zadání v celém rozsahu a oba sestavené modely jsou funkční. Jako doplňující prvek a nad rámec zadání práce byl doplněn tlakový senzor pro měření změn tlaku v hadičkách při jednotlivých nastavených režimech.

## 8 Seznam literatury

- [1] KOUNKOVÁ, Kristýna, *Virtuální model lidského těla*. Brno 2013. Bakalářská práce. Masarykova universita v Brně, Fakulta přírodovědecká
- [2] Anatomický ústav 1. Lékařské fakulty University Karlovy v Praze. *Z historie anatomie*. [online]. 2012 [cit.2015-01-11]. Dostupné z: <http://anat.lf1.cuni.cz/historie/historie.php>
- [3] GRIM, Miloš. *Anatomie od Vesalia po současnost (1514-2014)*. Vyd. 1. Praha: Grada, 2014, 288 s. ISBN 978-80-247-5023-1
- [4] Anatomy warehouse. *E-shop*. [online]. 2015 [cit. 2014-12-11]. Dostupné z <http://www.anatomywarehouse.com/diseased-kidney-anatomy-model-a-100797>
- [5] Carolina. *E-shop* [online]. 2015 [cit. 2015-01-11]. Dostupné <http://www.carolina.com/human-anatomy-models/altay-human-kidney-nephron-and-renal-corpusele-model/566923A.pr>
- [6] ECVV. *Models of kidneys* [online]. 2014 [cit. 2014-10-02]. Dostupné <http://www.ecvv.com/product/1302105.html>
- [7] 3B Scientific. *E-shop* [online]. 2015 [cit. 2015-01-09]. Dostupné <http://www.3bscientific.com/>
- [8] Xincheng Scientific Industries CO.,Ltd . *E-shop* [online]. 2015 [cit. 2015-01-09]. Dostupné [http://www.xinch.com/products\\_detail/&productId=6e86bd2d-354d-4279-a7ec-0c5c63ee7c89&comp\\_stats=comp-FrontProducts\\_list01-004.html](http://www.xinch.com/products_detail/&productId=6e86bd2d-354d-4279-a7ec-0c5c63ee7c89&comp_stats=comp-FrontProducts_list01-004.html)
- [9] GetMedicalModel. *E-shop* [online]. 2015 [cit. 2015-01-03]. Dostupné <http://www.getmedicalmodel.com/heart-circulatory-models/252-a16003-electric-model-of-blood-circulation.html>
- [10] Anatomy Expert. *Výukový software* [online]. 2015 [cit. 2015-01-13]. Dostupné <http://www.anatomyexpert.com>
- [11] Funscape. *Blood circulation* [online]. 2015 [cit. 2015-01-05]. Dostupné <http://www.funscape.com/Image/31625/Blood+Circulation.html>
- [12] Langmaier, Miloš, a kolektiv. *Základy lékařské fyziologie*. Vyd. 1. Praha: Grada, 2009, 320s. ISBN 978-80-247-2526-0
- [13] JIRÁK, Zdeněk a kolektiv. *Fyziologie pro bakalářské studium na LF OU*. dotisk 2. přepracovaného vydání, 2010. Ostrava: Ostravská universita v Ostravě, Lékařská fakulta, 2010. 250s. ISBN 978-80-7368-234-7.

- [14] GRIM, Miloš, Druga, Rastislav. *Základy anatomie* 3. Vyd 2. Praha: Galén, 2002. 119s. ISBN 978-80-7262-302-0.
- [15] Ledviny, močové cesty [online]. 2015 [cit. 2015-01-14]. Dostupné <http://ledviny-mocove-cesty.webnode.cz/anatomie-a-fiziologie/>
- [17] Health, medicine and anatomy reference picture. *Label liver diagram* [online]. 2015 [cit. 2015-01-14]. Dostupné <http://healthfavo.com/labeled-liver-diagram.html>
- [17] Health, medicine and anatomy reference picture. *Label liver diagram* [online]. 2015 [cit. 2015-01-14]. Dostupné <http://healthfavo.com/labeled-liver-diagram.html>
- [18] Conrad. *Palivové čerpadlo Modelcraft* [online]. 2015 [cit. 2015-03-14]. Dostupné z: <http://www.conrad.cz/palivove-cerpadlo-modelcraft-12-v-0-6-l-min.k207894?icc=Search&icn=207894>
- [19] Lego Mindstorms. *Uživatelská příručka* [online]. 2015 [cit. 2015-02-22]. Dostupné z: <http://www.lego.com/en-us/mindstorms/downloads>
- [20] Mindstormsforum. *Pin-Belegung der NTX* [online]. 2015 [cit. 2015-03-09]. Dostupné z: <http://www.mindstormsforum.de/viewtopic.php?t=4417>
- [21] Teaching. *EV3 sensor and accessories* [online]. 2015 [cit. 2015-04-05]. Dostupné z: <http://www.teaching.com.au/catalogue?catalogue=MTA&category=MTA-LEGO-EV3-SENSORS-ACCESSORIES>
- [22] Mindsensors. *Digital pneumatic pressure sensor for NTX and EV3* [online]. 2015 [cit. 2015-02-23]. Dostupné z: [http://www.mindsensors.com/index.php?module=pagemaster&PAGE\\_user\\_op=view\\_page&PAGE\\_id=150](http://www.mindsensors.com/index.php?module=pagemaster&PAGE_user_op=view_page&PAGE_id=150)
- [23] Pandatron Elektronický magazín. *NE555 – popis obvodu* [online]. 2015 [cit. 2015-04-14]. Dostupné z: <http://pandatron.cz/?200&ne555>
- [24] Alldatasheet. *NE555 Datasheet (PDF) - STMicroelectronics* [online]. 2015 [cit. 2015-04-18]. Dostupné z: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/23384/STMICROELECTRONICS/NE555.html>

## 9 Seznam příloh

Příloha A – Elektrické schéma zapojení .....	I
Příloha B – Schéma desky plošných spojů .....	II
Příloha C – Soupis součástek a jejich cena .....	III
Příloha D – CD .....	IV

